

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

ap

(11)Publication number : 2000-323298

(43)Date of publication of application : 24.11.2000

(51)Int.Cl.

H05H 1/46  
H01L 21/3065  
H01L 21/31

(21)Application number : 2000-060448

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 01.03.2000

(72)Inventor : DOI AKIRA  
YOSHIOKA TAKESHI  
EDAMURA MANABU  
KAZUMI HIDEYUKI  
KANAI SABURO  
TETSUKA TSUTOMU  
ARAI MASATSUGU  
MAEDA KENJI  
TSUBONE TSUNEHICO

(30)Priority

Priority number : 11061857

Priority date : 09.03.1999

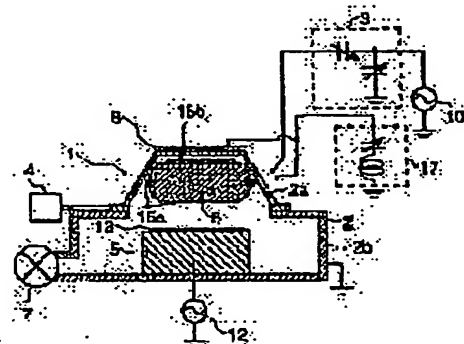
Priority country : JP

## (54) PLASMA TREATMENT DEVICE AND METHOD

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To facilitate control of the plasma distribution by electrically connecting an inductively coupled antenna arranged on the surface surrounding a plasma formation region in series with a capacitively coupled antenna arranged in a portion of the surface outside the inductively coupled antenna.

SOLUTION: A coiled inductively coupled antenna 1 is arranged outside a discharge part 2a of an insulating material constituting a vacuum vessel 2 along with a processing part 2b having an electrode 5 for arranging a wafer 13 or the like installed thereon. A circuit of a load 17 in parallel to a disc capacitively coupled antenna 8 which is connected in series with a first high frequency power supply 10 via an impedance matching box 3 and provided in an atmosphere side on a ceiling of the discharge part 2a is grounded. The impedance of the load 17 is changed and the ratio of the high frequency currents of both antennas is changed so that the density of the generated plasma is changed. The adhesion of reaction products generated in a large amount in the ceiling region 15b of the discharge part 2a caused by plasma by the inductively coupled antenna 1 is suppressed by the electric field of the capacitively coupled antenna 8.



LEGAL STATUS

BEST AVAILABLE COPY

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

### [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to suitable plasma treatment equipment to carry out plasma treatment of the sample using the plasma which supplied high-frequency power to the antenna, was made to generate electric field, and was generated by the electric field, and the plasma treatment approach.

[0002]

[Description of the Prior Art] Although the plasma of high density is generated by the coiled form antenna in the part where the electric field from a coiled form antenna are strong and a resultant cannot adhere the high frequency current easily at it in the internal surface of the vacuum housing by which the plasma is generated with a sink and the plasma treatment equipment which generates the plasma by the induction, in the part where electric field are weak, a resultant tends to adhere low and a plasma consistency may also cause generating of dust. As [ indicate /, for example / as an approach of solving such a problem / by JP,8-316210,A of Japan ] The RF antenna which can pass the high frequency current is formed in the outside of the dielectric wall which forms a vacuum chamber. It combines the plasma and electrostatic between this RF antenna and a dielectric member. Prepare the electrode which makes uniform electric field form on the internal surface of a dielectric member, and a RF antenna and an electrode are connected to juxtaposition. The inside of a process makes small power supplied to an electrode, and the method of enlarging power supplied to an electrode and carrying out a cleaning process is learned between processes.

[0003] Moreover, a division Faraday shield is prepared between the induction coils and reaction chambers where high-frequency power is impressed to a USP No. 5,811,022 specification like a publication, a division Faraday shield is chosen, and there are some which control the level of change of plasma potential.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] The conventional technique of the above-mentioned former is made into the approach of dividing and processing the process which processes a wafer, and the cleaning process which cleans the inside of a vacuum chamber, and was not fully considered about the throughput. Moreover, so that it may prevent that a resultant adheres to the wall of a vacuum chamber during plasma treatment When the current which flows to the electrode (electrostatic-capacity coupled antenna) combined in electrostatic capacity is enlarged, in the circuit where the RF antenna (inductivity) and the electrode (capacitive) were connected to juxtaposition In order that the electrode combined in electrostatic capacity may work as a capacitor in electrical circuit since discharge of electrostatic-capacity association is produced, and the RF antenna for producing discharge of inductive coupling may work as a coil, There is a case where it becomes impossible for matching of a lifting and high frequency to take parallel resonance (phenomenon in which the magnitude of a synthetic impedance becomes infinite). For this reason, plasma treatment by the conditions near [ which produces parallel resonance ] a field cannot be carried out, but the applicability of plasma treatment conditions becomes narrow.

[0005] Moreover, if the current which flows to the electrode (electrostatic-capacity coupled antenna) combined in electrostatic capacity is enlarged in order to prevent that a resultant adheres to the wall of a vacuum housing during plasma treatment, since the plasma by electrostatic-capacity discharge will occur strongly, distribution of the plasma changes and there is a problem that the conditions for processing a wafer to homogeneity will go wrong.

[0006] If between an induction coil and Faraday shields is combined in capacity, namely, the conventional technique of the above-mentioned latter considers a Faraday shield to be the electrode combined in electrostatic capacity, since the circuit for impressing an electrical potential difference to an electrode will use stray capacity, the electrical potential difference impressed to an electrode will be influenced by the precision at the time of reinstallation of the induction coil after atmospheric-air disconnection of a vacuum housing, an electrode, etc. Moreover, if it is going to enlarge the electrical potential difference impressed to an electrode, it is necessary to enlarge magnitude of stray capacity, and it is necessary to enlarge area of an induction coil or to carry out near of the distance with an electrode in this case. However, enlarging area is that the high-voltage section becomes large, and it also has a possibility that abnormality discharge may arise if near of the distance is carried out, and leads to the fall of the soundness of equipment, and dependability. Therefore, in the thing using stray capacity, the electrical potential difference impressed to an electrode can seldom be enlarged.

[0007] On the other hand, with owner magnetic field plasma type plasma treatment equipment, distribution of the plasma can be controlled by changing the magnetic field which an electromagnet etc. generates, and homogeneity processing of a sample and adhesion of a resultant can adjust to plasma distribution of few conditions easily. However, a means to adjust plasma distribution was restricted, for example, the configuration of a vacuum housing was changed, and the location of an inductive-coupling antenna was adjusted and distribution was controlled by the inductive discharge plasma type plasma treatment equipment of a non-magnetic field. However, when process conditions, such as gas pressure, were changed, distribution of the plasma changed and that of process processing was completed only on the conditions restricted very much in one plasma treatment equipment.

plasma treatment equipment and the plasma treatment approach of controlling plasma distribution. [http://www.ipdl.jpo.go.jp/cgi-bin/tran\\_web\\_cg](http://www.ipdl.jpo.go.jp/cgi-bin/tran_web_cg)  
[0009] The second purpose of this invention is in the plasma treatment which used the inductive-coupling antenna to offer the plasma treatment equipment and the plasma treatment approach of controlling adhesion of the resultant to the internal surface of a vacuum housing during processing of a sample.

[0010]

[Means for Solving the Problem] An electrostatic-capacity coupled antenna is arranged to the field of a part where the first purpose of above-mentioned this invention arranges an inductive-coupling antenna to the field surrounding the field in which the plasma is formed, and the inductive-coupling antenna is not arranged at least. An inductive-coupling antenna and an electrostatic-capacity coupled antenna are electrically connected to a serial. It considers as the equipment which established an adjustment means to adjust the rate of the high frequency current of flowing to an electrostatic-capacity coupled antenna and an electrostatic-capacity coupled antenna. The rate of the high frequency current of flowing to the inductive-coupling antenna electrically connected to the serial and an electrostatic-capacity coupled antenna is adjusted. It is attained by generating the plasma in a container using the electric field by the inductive-coupling antenna and the electrostatic-capacity coupled antenna, and considering as the approach of processing a sample using this plasma.

[0011] An electrostatic-capacity coupled antenna is arranged to the field of a part where the second purpose of above-mentioned this invention arranges an inductive-coupling antenna to the field surrounding the field in which the plasma is formed, and the inductive-coupling antenna is not arranged. It considers as the equipment which connected electrically the inductive-coupling antenna and the electrostatic-capacity coupled antenna to the serial. Electric field are formed in a container with the inductive-coupling antenna and electrostatic-capacity coupled antenna which were electrically connected to the serial. It is attained by the electric field from an inductive-coupling antenna forming the electric field of electrostatic-capacity association with a weak part, generating the plasma in a container using these electric fields, and considering as the approach of processing a sample using this plasma.

[0012] Since according to this invention the rate of the high frequency current of flowing to the inductive-coupling antenna electrically connected to the serial and an electrostatic-capacity coupled antenna is adjusted and the field strength generated with an inductive-coupling antenna and an electrostatic-capacity coupled antenna can be adjusted, the optimal plasma for processing can be generated in a container, and adhesion of the resultant to the internal surface of a vacuum housing can be controlled during processing of a sample in the plasma treatment using an inductive-coupling antenna.

[0013]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, drawing 1 thru/or drawing 3 explain the first example of this invention. Drawing of longitudinal section of the plasma treatment equipment of this invention is shown in drawing 1. A vacuum housing 2 consists of discharge section 2a which changes by the insulating material (for example, non-conductive ingredients, such as a quartz and a ceramic) which forms the plasma production section in the interior in this case, and processing section 2b in which the electrode for arranging the sample 13 which is a processed material, for example, a wafer, was installed. Processing section 2b is installed in the ground and the electrode 5 is attached in processing section 2b through the insulating material. The coiled form inductive-coupling antenna 1 is arranged on the outside of discharge section 2a. Moreover, the disc-like electrostatic-capacity coupled antenna 8 combined with the plasma 6 in electrostatic capacity is formed in the atmospheric-air side of head lining of discharge section 2a. The inductive-coupling antenna 1 and the electrostatic-capacity coupled antenna 8 are connected to first RF generator 10 through the adjustment machine (matching box) 3 at the serial. Moreover, the circuit of the load 17 in which adjustable is possible as for the magnitude of an impedance is grounded to the electrostatic-capacity coupled antenna 8 and juxtaposition at the ground. In a vacuum housing 2, raw gas is supplied from a gas transfer unit 4, and the inside of a vacuum housing 2 is evacuated by the predetermined pressure with an exhaustor 7. Second RF generator 12 is connected to the electrode 5.

[0014] With the equipment constituted as mentioned above, raw gas is supplied in a vacuum housing 2 with a gas transfer unit 4, and this raw gas is plasma-ized according to an operation of the electric field generated with the inductive-coupling antenna 1 and the electrostatic-capacity coupled antenna 8. The plasma-ized gas is behind exhausted by the exhaustor 7. Although it generated by first RF generator 10, for example, the electric field for plasma production have been acquired by supplying high-frequency power, such as HF bands, such as 13.56MHz, 27.12MHz, and 40.68 etc.MHz, and a VHF band with a still higher frequency, to the inductive-coupling antenna 1 and the electrostatic-capacity coupled antenna 8, in order to press down reflection of power, a matching box 3 is used, and the impedance of an antenna is made in agreement with the output impedance of first RF generator 10. The thing [ electrostatic capacity / which is called a common reverse L type in this case ] using two variable condensers in which adjustable is possible is being used for a matching box 3. Moreover, the wafer 13 processed is arranged on an electrode 5, and in order to draw the ion which exists in the plasma 6 on a wafer 13, it impresses bias voltage to an electrode 5 by second RF generator 12.

[0015] Drawing 2 is the appearance perspective view showing the discharge circuit of the plasma treatment equipment of drawing 1. As a discharge circuit, the high frequency current which came out of first RF generator 10 passes along a matching box 3, flows the inductive-coupling antenna 1, and flows to the electrostatic-capacity coupled antenna 8. The current which flowed to the electrostatic-capacity coupled antenna flows to a ground through the plasma. Moreover, the circuit of the load 17 in which adjustable is possible is established for the magnitude of an impedance in the electrostatic-capacity coupled antenna 8 at juxtaposition, and it connects with a ground at it. Although the load 17 should have connected the fixed inductor with the variable condenser in this case at the serial, it can make an impedance zero by carrying out series resonance.

[0016] Drawing 3 shows the equal circuit of the discharge circuit shown in drawing 2. The load 9 and the electrostatic-capacity coupled antenna 8 are shown for the inductive-coupling antenna 1 equivalent as a load 11.

[0017] When the magnitude of the impedance of a load 17 is zero, the electrical potential difference which joins a load 11, and the current which flows to the electrostatic-capacity coupled antenna 8 since it becomes zero serve as zero, and it will be in the condition that electrostatic-capacity joint discharge does not take place. Namely, it will be in the condition that the plasma is generated only by inductive-coupling discharge. If magnitude of the impedance of a load 17 is enlarged, the current

which flows for a load 11 will increase and the rate of the plasma generated by electrostatic-capacity joint discharge will become strong gradually.

[0018] In addition, although the magnitude of a load 11 must be changed in the range which can take matching of a matching box 3, it is necessary to take the following things into consideration as conditions for taking matching.

[0019] As one of the condition of the, when the reactance of YC and a load 17 is set [ the reactance of a load 9 ] to YV for the reactance of YL and a load 11, since YL is inductive, since  $YL > 0$  and YC are electrostatic-capacity targets, they are  $YC < 0$ . When set to  $YC = -YV$  in the field of  $YV > 0$ , a lifting composition impedance becomes large rapidly about parallel resonance, and it becomes impossible however, for YC and YV to take matching, since it connects with juxtaposition. For this reason, there is a case where plasma production becomes impossible, in such a field. Therefore, a load 11 is changed in a field which is set to  $YV < 0$ . By this, matching can be taken satisfactory.

[0020] Moreover, if the reactance of the synthetic impedance when connecting a load 11 and a load 17 with juxtaposition is set to YG as another condition, it will be set to  $YG < 0$  on the conditions used as  $YV < 0$  and  $YC < 0$ . However, at the time of  $YG > YL$ , the reactance of the load of the whole discharge circuit which should take matching in a matching box 3 may serve as negative, and matching may be unable to be taken in the matching box of the reverse L type shown in drawing. In that case, matching can be taken now by inserting an inductor in a load 9 at a serial. Moreover, although it can respond by using the matching box called pi mold, the structure of a matching box becomes complicated in this case.

[0021] Thus, by changing the impedance of a load 17, the rate of the high frequency current of flowing to the inductive-coupling antenna 1 and the electrostatic-capacity coupled antenna 8 can be changed, and the field strength generated with each antenna changes. The consistency of the plasma generated with each antenna is changeable with this. Since in other words the consistency of each plasma is changeable corresponding to the location of each antenna, distribution of the plasma within discharge section 2a is controllable.

[0022] That is, since the plasma is strongly generated in field 15a when the inductive-coupling antenna 1 generates the plasma, when the plasma generates on the outside strongly and the electrostatic-capacity coupled antenna 8 generates the plasma, since it generates strongly in field 15b, the plasma with a strong center section generates the plasma. Therefore, by adjusting the current which flows to the electrostatic-capacity coupled antenna 8, the strength of the plasma of a center section can be adjusted, distribution of the plasma can be controlled by this proper, and a wafer can be processed to homogeneity.

[0023] Moreover, since the plasma generated by electrostatic-capacity joint discharge can adjust the rate of electrostatic-capacity joint discharge and inductive-coupling discharge by adjusting the current which flows to the electrostatic-capacity coupled antenna 8 since there is an inclination for electron temperature to be higher than the plasma by inductive-coupling discharge, electron-temperature control of the plasma, the dissociation control of raw gas of it, etc. are attained. Thereby, the optimal conditions doubled with each process, such as processing of a sample, for example, metal etching, gate etching, insulating material etching, and etching processing of the magnetic head, can be made to apply.

[0024] Moreover, the electric field made by the inductive-coupling antenna 1 are strongly generated in field 15a near the inductive-coupling antenna. Therefore, although there is little adhesion of a resultant on the discharge section 2a side face of a vacuum housing 2 when the inductive-coupling antenna 1 generates the plasma, on the head lining of discharge section 2a, adhesion of a resultant occurs mostly. In order to prevent the adhesion, the disc-like electrostatic-capacity coupled antenna 8 combined with the plasma 6 in electrostatic capacity is formed in the atmospheric-air side of head lining of discharge section 2a, and field 15b near head lining is made to generate electric field strongly. Thereby, it can set into the head-lining part of a vacuum housing 2, i.e., the head-lining part of discharge section 2a, and adhesion of a resultant can be controlled or prevented.

[0025] As mentioned above, according to the example of this first, an electrostatic-capacity coupled antenna is arranged to the field of the discharge section where the discharge section is enclosed, an inductive-coupling antenna is arranged, and the inductive-coupling antenna is not arranged. By connecting electrically an inductive-coupling antenna and an electrostatic-capacity coupled antenna to a serial, and supplying high-frequency power Since strong electric field can be formed also in the part which cannot form strong electric field with an inductive-coupling antenna with an electrostatic-capacity coupled antenna Since the plasma of high density is generable in the whole discharge section, it is effective in the ability to control adhesion of the resultant to a vacuum housing internal surface during the plasma treatment of a wafer.

[0026] Moreover, by adjusting the current which flows the rate of a current of flowing to an inductive-coupling antenna and an electrostatic-capacity coupled antenna, to adjustment, for example, an electrostatic-capacity coupled antenna, the strength of the plasma of a center section can be adjusted, distribution of the plasma can be controlled by this proper, and a wafer can be processed to homogeneity.

[0027] Furthermore, since the rate of electrostatic-capacity joint discharge and inductive-coupling discharge can be adjusted by adjusting the current which flows the rate of a current of flowing to an inductive-coupling antenna and an electrostatic-capacity coupled antenna, to adjustment, for example, an electrostatic-capacity coupled antenna, electron-temperature control of the plasma, dissociation control of raw gas, etc. become possible.

[0028] In addition, although the current which flows to an electrostatic-capacity coupled antenna was adjusted as an approach of adjusting the rate of a current of flowing to an inductive-coupling antenna and an electrostatic-capacity coupled antenna, i.e., it stated adjusting the current which flows to the electrostatic-capacity coupled antenna 8 using a load 17 in the this 1 example, the same control is possible even if it connects a load 17 to the inductive-coupling antenna 1 at juxtaposition. The equal circuit in this case is shown in drawing 4. When the impedance of a load 17 is zero, the high frequency current which flows for the load 9 of the inductive-coupling antenna 1 becomes zero, it takes for enlarging the impedance of a load 17, and the current which flows for a load 9 becomes large. Thus, in this circuit, adjustment of the current which flows at the inductive-coupling antenna 1 is attained.

[0029] Next, drawing 5 thru/or drawing 8 explain the second example of this invention. Drawing of longitudinal section of the plasma treatment equipment of this invention is shown in drawing 5, and the perspective view of a discharge circuit is shown in it at drawing 6. In this Fig., drawing 1 and drawing 2, and the same sign which were shown in said first example show the

same member, and omit explanation. The point that this Fig. differs from drawing 1 and drawing 2 is that the plasma is installed two lines, inductive-coupling antenna 1a and inductive-coupling antenna 1b, up and down, having connected with juxtaposition, and having connected the variable condenser 16 to a serial at inductive-coupling antenna 1a.

[0030] Thus, plasma distribution is controllable by controlling the magnitude of the high frequency current which flows at two inductive-coupling antennas 1a and 1b by the constituted equipment. Hereafter, the control approach of plasma distribution is described.

[0031] The induction field which two inductive-coupling antenna 1a and inductive-coupling antenna 1b make set a strong field to field 25a and field 25b. Moreover, the electric field which the electrostatic-capacity coupled antenna 8 makes set a strong field to field 25c. Generation of the plasma is performed in the field where these electric fields are strong. Discharge section 2a of a vacuum housing 2 is making a path small toward the upper part on illustration, and the magnitude of the path of field 25a and field 25b differs. In this case, the path of field 25a is small and the path of field 25b is large. The plasma which inductive-coupling antenna 1a makes in connection with this turns into plasma with a central high consistency, and the plasma which inductive-coupling antenna 1b makes turns into plasma with the high consistency of a periphery. Therefore, distribution of the plasma is controllable by adjusting the rate of a current of flowing to inductive-coupling antenna 1a and inductive-coupling antenna 1b.

[0032] Next, how to adjust the rate of the high frequency current of flowing to inductive-coupling antenna 1a and inductive-coupling antenna 1b is explained. The equal circuit of the discharge circuit of drawing 6 is shown in drawing 7. Load 9a and inductive-coupling antenna 1b are expressed for inductive-coupling antenna 1a as load 9b. If magnitude of the impedance of  $Z_a$  and load 9b is set to  $Z_b$  for the magnitude of the impedance which compounded load 9a and a variable condenser 16, the magnitude of the high frequency current which flows to load 9a and load 9b is proportional to  $1/Z_a$  and  $1/Z_b$ . Although an inductive-coupling antenna has a forward reactance, a current is controllable by changing  $Z_a$  from a forward value to zero with a variable condenser with a negative reactance.

[0033] Since matching may be unable to be taken when it is the conditions from which the reactance of  $Z_a$  serves as negative here, since the reactance of  $Z_b$  is forward, as for the reactance of  $Z_a$ , using on the conditions used as forward is desirable. Therefore, it can be said that the circuit of drawing 7 is a circuit suitable for making the current which flows to load 9a increase.

[0034] The high frequency current which flows to the electrostatic-capacity coupled antenna 8 when processing a wafer using above-mentioned equipment and an above-mentioned approach is strengthened, the plasma generated in field 25c when the rate of a current of flowing to inductively-coupled-plasma 1a and inductive-coupling antenna 1b is fixed increases, and since the current which flows to inductively-coupled-plasma 1a and inductive-coupling antenna 1b decreases relatively, the plasma generated by field 25a and field 25b decreases. Therefore, the consistency of the center of the plasma will become high and, also in the processing speed distribution on a wafer 13, a center will become early.

[0035] Then, by enlarging the current which is small and flows the current which flows to inductive-coupling antenna 1a to inductive-coupling antenna 1b, distribution of the plasma can be controlled by making [ many ] the plasma generated by large field 25b of a path, and lessening the plasma generated by small field 25a of a path, and processing speed on a wafer 13 can be made into homogeneity by it.

[0036] As mentioned above, according to the example of \*\*\*\* 2, while there is the same effectiveness as said first example, the inductive-coupling antenna with which the magnitude of two lines differs is formed, and it is effective in the ability to control distribution of the plasma in discharge circles by controlling the amount of impression of the high-frequency power to each inductive-coupling antenna still more finely, since inductive-coupling discharge of different magnitude can be obtained.

[0037] Moreover, since field 25a, field 25b, and field 25c can be made to generate freely the strong electric field which each antenna generates since the high frequency current which flows to each of two inductive-coupling antennas 1a and 1b and the electrostatic-capacity coupled antenna 8 is controllable and it is made to the optimal plasma state, it is effective in the ability to control adhesion into the container of the resultant under wafer processing in the still finer range.

[0038] In addition, what is necessary is just to connect with load 9b in the example of \*\*\*\* 2, at a serial rather than to connect the variable condenser 16 in the circuit of drawing 7 to load 9a at a serial, in order to decrease the current which flows to load 9a.

[0039] Moreover, as other circuits for decreasing the current which flows to load 9a, as shown in the equal circuit of the discharge circuit of drawing 8, an inductor 19 may be installed in a variable condenser 16 and a serial. Here, in the conditions from which the reactance of the synthetic impedance of a variable condenser 16 and an inductor 19 serves as forward, since the reactance of load 9a and load 9b is forward, parallel resonance does not start, is stabilized and matching can be taken.

[0040] Next, drawing 9 and drawing 10 explain the third example of this invention. Drawing of longitudinal section of the plasma treatment equipment of this invention is shown in drawing 9, and the perspective view of a discharge circuit is shown in it at drawing 10. In this Fig., drawing 5 and drawing 6, and the same sign which were shown in said second example show the same member, and omit explanation. The point that this Fig. differs from drawing 5 and drawing 6 prepares electrostatic-capacity coupled antenna 8a so that the whole discharge section 2a of a vacuum housing 2 may be covered, and it is a point.

[0041] In the example of \*\*\*\* 3, the induction field which two inductive-coupling antenna 1a and inductive-coupling antenna 1b make set a strong field to field 25a and field 25b. Moreover, the electric field which the electrostatic-capacity coupled antenna 8 makes make a strong field 25d of fields. Although generation of the plasma is performed in the field where this electric field are strong, since it is installed so that electrostatic-capacity coupled antenna 8a may cover the vacuum housing 2 whole, 25d of fields serves as the whole part which adjoins the discharge section 2a wall of a vacuum housing 2, and prevention or cleaning can perform that a resultant adheres to the whole wall of discharge section 2a by electrostatic-capacity discharge. Moreover, it prevented the electrostatic-capacity-electric field of an inductive-coupling antenna and the plasma getting across to discharge circles by forming an electrostatic-capacity coupled antenna between the inductive-coupling antennas 1a and 1b and discharge section 2a, and the role of the Faraday shield which prevents that a discharge section wall is shaved by the plasma is played.



[0042] Drawing 10 is the perspective view of the discharge circuit of the equipment shown in drawing 10. The electric field which the inductive-coupling antennas 1a and 1b generate may arrive at the interior of vacuum housing 2a, and it may intersect perpendicularly with the inductive-coupling antennas 1a and 1b. If a slit 14 does not bar the electric field which the inductive-coupling antennas 1a and 1b make, it does not need to intersect perpendicularly and may have a certain amount of inclination.

[0043] Since according to the example of \*\*\*\* 3 8a covers the whole discharge section 2a and the electrostatic-capacity coupled antenna is formed while being able to acquire the same effectiveness as the above-mentioned first and the second example, it sets to the whole discharge section 2a inside, and is effective in the ability to prevent or control adhesion of a resultant.

[0044] Next, the experimental data when generating the plasma using the concept described in the example of \*\*\*\* 3 is shown. Drawing 11 shows the discharge circuit used for the experiment. Matching is made easy to take by installing a 1.2-microhenry inductor in a matching box 3 in this discharge circuit. Moreover, in order to control the current which flows to electrostatic-capacity coupled antenna 8a, the 200pF capacitor was installed before the electrostatic-capacity coupled antenna. Moreover, inductive-coupling antenna 1a is considering two turns and inductive-coupling antenna 1b as one turn. The current which flows at two inductive-coupling antennas, and the current which flows to electrostatic-capacity coupled antenna 8a are performed by the load which put variable condensers 16a and 16b and a fixed inductor together.

[0045] Drawing 12 shows the current ratio (current which flows to the current / antenna 1b which flows to antenna 1a) which flows to inductive-coupling antenna 1a at the time of changing the value of the electrostatic capacity of variable condenser 16a, and inductive-coupling antenna 1b. Thus, it turns out that the ratio of a current which flows at Antennas 1a and 1b can be adjusted by changing variable condenser 16a. Here, in order to adjust the current which flows at Antennas 1a and 1b, variable condenser 16a and a 0.9-microhenry inductor are prepared behind antenna 1b in this case at a serial. Thereby, adjustable [ of the electrostatic capacity of variable condenser 16a ] is carried out, when the impedance by variable condenser 16a, the 0.9-microhenry inductor, and antenna 1b is zero, the high frequency current serves as flow only to antenna 1b, and a current ratio serves as zero. Moreover, when an impedance is larger than zero, the high frequency current which flows at Antennas 1a and 1b becomes in phase, and serves as a current ratio of plus. On the contrary, when an impedance is smaller than zero, the high frequency current which flows at Antennas 1a and 1b serves as an opposite phase, and serves as a current ratio of minus.

[0046] Drawing 13 shows the homogeneity of the ion saturation current consistency of the plasma on the electrode at the time of changing a current ratio. Homogeneity shows as minus the case where plus and the periphery section are high for the case where the center section of the plasma is high. Thus, the ion saturation current consistency of the plasma, i.e., distribution, can be adjusted in the range large from the periphery section to a center section by adjusting a current ratio. In this experimental device, the homogeneity of the ion saturation current consistency of the plasma has been adjusted no less than 50%.

[0047] Drawing 14 shows the amplitude (peak-to-peak) of the electrical potential difference generated in electrostatic-capacity coupled antenna 8a at the time of changing the value of the electrostatic capacity of variable condenser 16b. Thus, compared with the thing thing using the conventional stray capacity, the electrical potential difference was able to be greatly adjusted from the condition which an electrical potential difference hardly generates in electrostatic-capacity coupled antenna 8a in this case before maximum abbreviation 1000V by using the discharge circuit which connected the inductive-coupling antenna and the electrostatic-capacity coupled antenna to the serial.

[0048] In addition, although two inductive-coupling antennas are installed in the example of \*\*\*\* 3, in order to control plasma distribution with high precision further, an inductive-coupling antenna may be increased to three lines or four lines or more.

[0049] Next, drawing 15 and drawing 16 explain the fourth example of this invention. The perspective view of the plasma treatment equipment of this invention is shown in drawing 15. In this Fig., drawing 10 and the same sign which were shown in said third example show the same member, and omit explanation. The point that this Fig. differs from drawing 10 is a point that the connection methods of the dielectric coupled antenna in a discharge circuit differ. That is, an inductive-coupling antenna ties electrostatic-capacity coupled antenna 8a to a serial further in the circuit which connected two lines, inductive-coupling antenna 1a and inductive-coupling antenna 1b, to the serial. Moreover, in order to adjust the current which flows to electrostatic-capacity coupled antenna 8a, it has connected so that it may be stood in a row about load 17a which can adjust the magnitude of an impedance at electrostatic-capacity coupled antenna 8a. Furthermore, in order to adjust the current which flows to inductive-coupling antenna 1a and inductive-coupling antenna 1b, load 17b and load 17c are similarly connected to juxtaposition.

[0050] Drawing 16 shows the equal circuit of the discharge circuit of the equipment shown in drawing 15. Load 9b and electrostatic-capacity coupled antenna 8a are expressed [ inductive-coupling antenna 1a ] for load 9a and inductive-coupling antenna 1b as a load 11. In this example, the strength of inductive-coupling discharge is adjusted with the magnitude of load 17a. If magnitude of the impedance of a load 17 is enlarged, the current which flows for a load 11 will increase and the rate of the plasma generated by electrostatic-capacity joint discharge will become strong. Moreover, if the impedance of load 17b or load 17c is enlarged and it goes, the inductive-coupling discharge in inductive-coupling antenna 1a or inductive-coupling antenna 1b will become strong. Therefore, the same effectiveness as the above-mentioned first thru/or the third example can obtain by adjusting the magnitude of the impedance of Loads 17a, 17b, and 17c.

[0051] In addition, although the current which puts Loads 17a, 17b, and 17c into juxtaposition at all of inductive-coupling antenna 1a, inductive-coupling antenna 1b, and electrostatic-capacity coupled antenna 8a, and flows to each is adjusted in the example of \*\*\*\* 4, even when one load cannot be found among those, the same control is possible, and the same effectiveness can be acquired.

[0052] Moreover, as conditions which can take matching, since the reactance of the impedance of electrostatic-capacity coupled antenna 8a is negative, in order to avoid parallel resonance, using on the conditions used as negative is desirable [ the reactance of load 17a ]. Moreover, since the reactance of the load of the inductive-coupling antennas 1a and 1b is forward, in order to avoid parallel resonance, it is desirable [ the reactance of load 17b and load 17c ] to use the conditions used as forward.

[0053] Furthermore, the reactance of the load of the whole discharge circuit where a matching box 3 should take matching serves as negative, and when it becomes impossible to take matching, matching can be taken by inserting an inductor in a serial between a matching box 3 and a discharge circuit in the matching box of the reverse L type shown in drawing.

[0054] Next, drawing 17 and drawing 18 explain the fifth example of this invention. The perspective view of the plasma treatment equipment of this invention is shown in drawing 17. In this Fig., drawing 15 and the same sign which were shown in said fourth example show the same member, and omit explanation. The point that this Fig. differs from drawing 15 is a point that the connection methods of the dielectric coupled antenna in a discharge circuit differ. Namely, an inductive-coupling antenna ties electrostatic-capacity coupled antenna 8a to a serial in the circuit which connected two lines, inductive-coupling antenna 1a and inductive-coupling antenna 1b, to the serial. In order to adjust the current which flows to electrostatic-capacity coupled antenna 8a, load 17a which can adjust the magnitude of an impedance is installed so that it may be stood in a row at electrostatic-capacity coupled antenna 8a. Furthermore, the circuit connected to the ground through load 17b which can adjust the magnitude of an impedance from between inductive-coupling antenna 1a and inductive-coupling antenna 1b is branched.

[0055] Drawing 18 shows the equal circuit of the discharge circuit of the equipment of drawing 17. Load 9b and the electrostatic-capacity coupled antenna 8 are expressed [ inductive-coupling antenna 1a ] for load 9a and inductive-coupling antenna 1b as a load 11. In this example, the strength of inductive-coupling discharge is adjusted with the magnitude of load 17a. If magnitude of the impedance of a load 17 is enlarged, the current which flows for a load 11 will increase and the rate of the plasma generated by electrostatic-capacity joint discharge will become strong. Moreover, since load 9b and a load 11 lead to juxtaposition in the circuit connected with the serial, load 17b can adjust the inductive-coupling discharge to inductive-coupling antenna 1b Depend and the electrostatic-capacity joint discharge by electrostatic-capacity coupled antenna 8a by adjusting the impedance of load 17b.

[0056] Moreover, as conditions which can take matching, since the reactance of the impedance of an electrostatic-capacity coupled antenna is negative, in order to avoid parallel resonance, using on the conditions used as negative is desirable [ the reactance of load 17a ]. Moreover, when the reactance of forward and a synthetic impedance is negative, also as for the reactance of load 17b, it is desirable, when the reactance of the impedance which compounded load 9b, a load 11, and load 17a is forward, in order to avoid parallel resonance with a circuit connected to load 17b and juxtaposition to make it the reactance of load 17b also serve as negative. Furthermore, the reactance of the load of the whole discharge circuit where a matching box 3 should take matching serves as negative, and the case where it becomes impossible to take matching comes out in the matching box of the reverse L type shown in drawing. Then, matching can be taken by inserting an inductor in load 9a at a serial.

[0057] As mentioned above, according to the example of \*\*\*\* 5, the same effectiveness as the above-mentioned 1st thru/or the 3rd above-mentioned example can be acquired.

[0058] Next, drawing 19 explains the sixth example of this invention. Drawing 19 is drawing of longitudinal section showing the plasma treatment equipment of this invention. Although the fundamental view of this example is the same as the second and third examples for a start, the configurations of the configuration of discharge section 20a of a vacuum housing 20, the inductive-coupling antenna 21, and the electrostatic-capacity coupled antenna 28 differ. In this example, discharge section 20a is cylindrical, the tubed electrostatic-capacity coupled antenna 28 is installed, and two coiled form inductive-coupling antenna 21a and inductive-coupling antenna 21b is wound around head lining of discharge section 20a so that the whole may be wrapped.

[0059] In this example, the induction field which two inductive-coupling antenna 21a and inductive-coupling antenna 21b make make a strong field 25e and 25f of fields. Moreover, the electric field which the electrostatic-capacity coupled antenna 28 makes make a strong field 25g of fields. Although generation of the plasma is performed in the field where these electric fields are strong, since the electrostatic-capacity coupled antenna 28 is installed so that the whole discharge section 20a may be covered, 25g of fields serves as the whole part which adjoins a discharge section 20a wall, and it can prevent or clean that the resultant of the whole wall of discharge section 20a adheres by electrostatic-capacity discharge.

[0060] Moreover, since the path of \*\* with the small path of inductive-coupling antenna 21a wound around head lining of discharge section 20a and inductive-coupling antenna 21b is large, the plasma which inductive-coupling antenna 21a makes in connection with it turns into plasma with a central high consistency, and the plasma which inductive-coupling antenna 21b makes turns into plasma with the high consistency of a periphery. Therefore, the same effectiveness can be acquired by using the second mentioned above thru/or the fifth one of discharge circuits.

[0061] As mentioned above, since the rate of electrostatic-capacity joint discharge and inductive-coupling discharge can be adjusted by adjusting the impedance of the load 17 which adjusted namely, prepared the amount of currents of the high frequency current to an inductive-coupling antenna and an electrostatic-capacity coupled antenna in the discharge circuit, or a variable condenser 16 according to this invention, adhesion of a resultant in a vacuum housing wall can be controlled during plasma treatment. Moreover, since distribution of the plasma is controllable, uniform plasma treatment can be performed. Furthermore, since control of plasma electron temperature can also be performed, the versatility of the process specifications using plasma, such as etching, can be coped with.

[0062] In addition, this invention may constitute a discharge circuit not only with the equipment shown in the first thru/or the sixth example mentioned above but with these combination. Moreover, it is not necessary to also divide a vacuum housing into the discharge section and the processing section, and is not restricted to the configuration which also showed the configuration of the discharge section in the example. For example, you may make it the vacuum housing of a configuration as shown in drawing 20 thru/or drawing 23. Moreover, as shown in drawing 22, an electrostatic-capacity coupled antenna may be arranged on the outside of an inductive-coupling antenna. Furthermore, an electrostatic-capacity coupled antenna may be stuck on the external surface of a vacuum housing like drawing 23, or an electrostatic-capacity coupled antenna may be embedded to the interior of a vacuum housing, and may be constituted.

[0063] Here, 20c, 20d, and 20e are vacuum housings, and the part corresponding to an antenna at least consists of non-\*\*\*\* ingredients. 21 is an inductive-coupling antenna and 28a, 28b, 28c, and 28d are electrostatic-capacity coupled antennas.

[0064] Moreover, this invention can be applied to the equipment and processing in which the plasma is used, and can be applied to processings, such as etching, CVD, and a spatter, and a processor, and can apply altogether processing of not only a semi-conductor wafer but the substrate for liquid crystal, processing of the magnetic head, etc. to what is processed using the plasma as a sample to process.

[0065] Furthermore, such this invention is applicable to the following semi-conductor manufacture processes. Drawing 24 is drawing showing an example of the process of a semi-conductor process which used this invention. The equipment configuration used as the object in this process uses which configuration of each example mentioned above.

[0066] In a semi-conductor process, the high-frequency power impressed to the class of raw gas, the gas pressure in a vacuum housing, a quantity of gas flow, and an antenna according to the ingredient to etch is adjusted, and a process recipe is decided to be able to perform homogeneity processing of the wafer in etching or membrane formation processing. For example, in etching aluminum and etching a quartz, using chlorine gas, boron trichloride gas, etc. as raw gas, it uses C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> gas as raw gas.

[0067] Since distribution of the plasma also changed when a class, gas pressure, etc. of gas changed, when the equipment of the conventional technique was used and the two above-mentioned kinds of ingredients were etched, etching processing needed to be performed using different equipment.

[0068] However, if the equipment of this invention is used, while adding the processes 31a, 31b, and 31c for adjusting the high frequency current which flows at two or more inductive-coupling antennas in the middle of the process processing which continued as shown in drawing 24, and carrying out plasma distribution adjustment By bringing different processes 30a, 30b, and 30c after each stroke 31a, 31b, and 31c, the same equipment can adjust the plasma distribution in each process to homogeneity, and a wafer can be processed to homogeneity.

[0069] By this, the time and effort which moves a wafer between equipment for every process can be saved, and improvement in a throughput can be aimed at. Moreover, since multiple-processes processing can be performed with one equipment, the number of equipment can be saved.

[0070]

[Effect of the Invention] Since according to this invention the rate of the high frequency current of flowing to the inductive-coupling antenna electrically connected to the serial and an electrostatic-capacity coupled antenna is adjusted and the field strength generated with an inductive-coupling antenna and an electrostatic-capacity coupled antenna can be adjusted. The optimal plasma for processing can be generated in a container, and it is effective in the ability to control adhesion of the resultant to the internal surface of a vacuum housing during processing of a sample in the plasma treatment using an inductive-coupling antenna.

---

[Translation done.]



PAT-NO: JP02000323298A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2000323298 A

TITLE: PLASMA TREATMENT DEVICE AND METHOD

PUBN-DATE: November 24, 2000

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
DOI, AKIRA	N/A
YOSHIOKA, TAKESHI	N/A
EDAMURA, MANABU	N/A
KAZUMI, HIDEYUKI	N/A
KANAI, SABURO	N/A
TETSUKA, TSUTOMU	N/A
ARAI, MASATSUGU	N/A
MAEDA, KENJI	N/A
TSUBONE, TSUNEHICO	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
HITACHI LTD	N/A

APPL-NO: JP2000060448

APPL-DATE: March 1, 2000

INT-CL (IPC): H05H001/46, H01L021/3065, H01L021/31

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To facilitate control of the plasma distribution by electrically connecting an inductively coupled antenna arranged on the surface surrounding a plasma formation region in series with a capacitively coupled antenna arranged in a portion of the surface outside the inductively coupled antenna.

SOLUTION: A coiled inductively coupled antenna 1 is arranged outside a discharge part 2a of an insulating material constituting a vacuum vessel 2 along with a processing part 2b having an electrode 5 for arranging a wafer 13 or the like installed thereon. A circuit of a load 17 in parallel to a disc capacitively coupled antenna 8 which is connected in series with a first high frequency power supply 10 via an impedance matching box 3 and provided in an atmosphere side on a ceiling of the discharge part 2a is grounded. The impedance of the load 17 is changed and the ratio of the high frequency currents of both antennas is changed so that the density of the generated plasma is changed. The adhesion of reaction products generated in a large amount in the ceiling region 15b of the discharge part 2a caused by plasma by the inductively coupled antenna 1 is suppressed by the electric field of the capacitively coupled antenna 8.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-323298

(P2000-323298A)

(43) 公開日 平成12年11月24日 (2000. 11. 24)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード (参考)
H 0 5 H 1/46		H 0 5 H 1/46	L 5 F 0 0 4
			R 5 F 0 4 5
H 0 1 L 21/3065		H 0 1 L 21/31	C
21/31		21/302	B

審査請求 未請求 請求項の数30 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2000-60448(P2000-60448)

(22) 出願日 平成12年3月1日 (2000. 3. 1)

(31) 優先権主張番号 特願平11-61857

(32) 優先日 平成11年3月9日 (1999. 3. 9)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 土居 昭

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

(72) 発明者 吉岡 健

山口県下松市大字東豊井794番地 株式会社日立製作所笠戸事業所内

(74) 代理人 100074631

弁理士 高田 幸彦 (外1名)

最終頁に続く

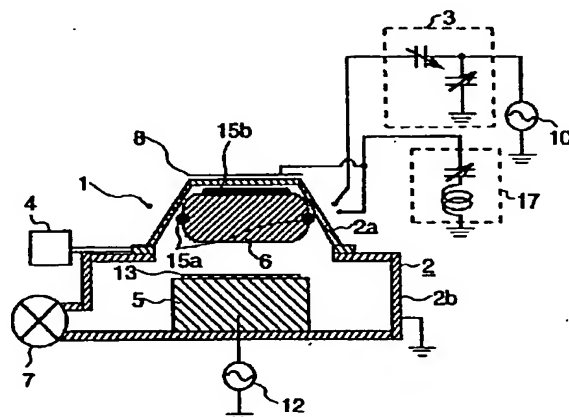
(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

(57) 【要約】

【課題】誘導結合アンテナを用いたプラズマ処理において、試料の処理中に真空容器の内壁面への反応生成物の付着を抑制することを目的とする。

【解決手段】誘導結合アンテナ1と静電容量結合アンテナ8の間からインピーダンスの大きさを可変可能な負荷17を介してアースに接地し、負荷17のインピーダンスの大きさを調整することで、静電容量結合放電で生成されるプラズマの割合を調整し、真空容器内壁への反応生成物の付着を抑制する。

図 1



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】プラズマが形成される領域を囲む面に対し誘導結合アンテナを配置し、前記誘導結合アンテナが配置されていない部分の面に対し静電容量結合アンテナを配置して、前記誘導結合アンテナと前記静電容量結合アンテナを電氣的に直列に接続したことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項2】プラズマが形成される領域を囲む面に対し誘導結合アンテナを配置し、少なくとも前記誘導結合アンテナが配置されていない部分の面に対し静電容量結合アンテナを配置して、高周波電源、前記誘導結合アンテナ、前記静電容量結合アンテナの順に電氣的に直列に接続したことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項3】プラズマが形成される領域を囲む面が少なくとも2面あり、一方の面に対し誘導結合アンテナを配置し、他方の面に対し静電容量結合アンテナを配置して、前記誘導結合アンテナと前記静電容量結合アンテナを電氣的に直列に接続し、前記誘導結合アンテナおよび静電容量結合アンテナに高周波電力を供給する高周波電源を接続したことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項4】プラズマが形成される領域を囲む面が少なくとも2面あり、一方の面に対し誘導結合アンテナを配置し、前記一方の面を含む少なくとも2面に対し静電容量結合アンテナを配置して、前記誘導結合アンテナと前記静電容量結合アンテナを電氣的に直列に接続し、前記誘導結合アンテナおよび静電容量結合アンテナに高周波電力を供給する高周波電源を接続したことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項5】請求項4記載のプラズマ処理装置において、前記誘導結合アンテナが配置された同一面に対し配置される静電容量結合アンテナは、前記誘導結合アンテナと該面との間に配置され、前記誘導結合アンテナの電界が透過する開口を有するプラズマ処理装置。

【請求項6】請求項4記載のプラズマ処理装置において、前記誘導結合アンテナが配置された同一面に対し配置される静電容量結合アンテナは、前記誘導結合アンテナの外側に配置されるプラズマ処理装置。

【請求項7】一部若しくは全体が内部にプラズマ生成部を形成する空間を有し、該プラズマ生成部を取り囲む部分が非導電性材料で成る真空容器と、前記真空容器内に処理ガスを供給するガス供給装置と、前記真空容器内を減圧排気する排気装置と、前記非導電性材料で成る真空容器の部分の外側に設けられ、電氣的に直列接続され、前記プラズマ生成部に電界を発生するコイル状の誘導結合アンテナ及び板状の静電容量結合アンテナと、前記直列に接続された誘導結合アンテナと静電容量結合アンテナに高周波電界を供給する第一の高周波電源と、前記両アンテナのインピーダンスと前記第一の高周波電源の出力インピーダンスとの整合をとる整合器と、

前記真空容器内に設けられ被処理物を配置する電極と、前記電極に高周波電界を印加する第二の高周波電源とを具備したことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項8】請求項7記載のプラズマ処理装置において、前記静電容量結合アンテナに対して実抵抗が小さくリアクタンスが可変な負荷回路を並列に挿入し、前記静電容量結合アンテナに流れる高周波電流を調整する回路を設けたプラズマ処理装置。

10 【請求項9】請求項8記載のプラズマ処理装置において、前記負荷回路としてバリコンと固定インダクターを直列に接続したプラズマ処理装置。

【請求項10】請求項7記載のプラズマ処理装置において、前記誘導結合アンテナを2系統以上の誘導結合アンテナとし、各誘導結合アンテナ流れる高周波電流の大きさを調整する回路を設けたプラズマ処理装置。

【請求項11】請求項10記載のプラズマ処理装置において、前記2系統以上の誘導結合アンテナを並列に接続し、1系統以上に、実抵抗が小さくリアクタンスが可変な負荷回路を直列に設置したプラズマ処理装置。

20 【請求項12】請求項10記載のプラズマ処理装置において、前記2系統以上の誘導結合アンテナを並列に接続し、1系統以上に、実抵抗が小さくリアクタンスが可変な負荷回路を並列に設置したプラズマ処理装置。

【請求項13】請求項10記載のプラズマ処理装置において、前記2系統以上の誘導結合アンテナを直列に接続し、該誘導結合アンテナの接続部から、実抵抗が小さくリアクタンスが可変な負荷回路をアースに接続したプラズマ処理装置。

30 【請求項14】プラズマが形成される領域を囲む面に対し誘導結合アンテナを配置し、少なくとも前記誘導結合アンテナが配置されていない部分の面に対し静電容量結合アンテナを配置して、前記誘導結合アンテナと前記静電容量結合アンテナを電氣的に直列に接続し、前記静電容量結合アンテナと前記静電容量結合アンテナに流れる高周波電流の割合を調整する調整手段を設けたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項15】請求項14記載のプラズマ処理装置において、前記調整手段は前記誘導結合アンテナと前記静電容量結合アンテナのいずれか又は両方に流れる高周波電流の大きさを調整するプラズマ処理装置。

40 【請求項16】プラズマが形成される領域を囲む面に対し誘導結合アンテナを配置し、少なくとも前記誘導結合アンテナが配置されていない部分の面に対し静電容量結合アンテナを配置して、前記誘導結合アンテナと前記静電容量結合アンテナを電氣的に直列に接続し、前記静電容量結合アンテナに流れる高周波電流を調整する回路を設けたことを特徴とするプラズマ処理装置。

50 【請求項17】請求項16記載のプラズマ処理装置において、前記回路は前記静電容量結合アンテナに対して並列にリアクタンスを可変可能な負荷回路を接続して成る

プラズマ処理装置。

【請求項18】プラズマが形成される領域を囲む面に対し誘導結合アンテナを配置し、少なくとも前記誘導結合アンテナが配置されていない部分の面に対し静電容量結合アンテナを配置して、前記誘導結合アンテナと前記静電容量結合アンテナを電氣的に直列に接続し、前記誘導結合アンテナに流れる高周波電流を調整する回路を設けたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項19】請求項18記載のプラズマ処理装置において、前記回路は前記容量結合アンテナに対して並列にリアクタンスを可変可能な負荷回路を接続して成るプラズマ処理装置。

【請求項20】電氣的に直列に接続された誘導結合アンテナと静電容量結合アンテナに流れる高周波電流の割合を調整し、前記誘導結合アンテナ及び静電容量結合アンテナによる電界を用いて容器内にプラズマを生成し、該プラズマを用いて試料を処理することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項21】容器の外周部に巻装された誘導結合アンテナと前記容器の外側で前記誘導結合アンテナより内側に配置された静電容量結合アンテナとを電氣的に直列に接続し、前記誘導結合アンテナ及び静電容量結合アンテナが形成する電界を用いて前記容器内にプラズマを生成する際に、前記静電容量結合アンテナに流れる電流の大きさを調節して、前記容器の中央部に生成されるプラズマの強さを調節し、試料を処理することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項22】電氣的に直列配置した誘導結合アンテナと静電容量結合アンテナの間に一方が接続され、他方がアースに接地されたインピーダンスの大きさを可変可能な負荷によって、前記負荷のインピーダンスの大きさを調整し、真空容器内に生成される静電容量結合放電によるプラズマの割合を調整することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項23】容器の外周部に巻装された誘導結合アンテナと前記容器の外側で前記誘導結合アンテナより内側に配置された静電容量結合アンテナとを電氣的に直列に接続し、前記誘導結合アンテナ及び静電容量結合アンテナが形成する電界を用いて前記容器内にプラズマを生成する際に、前記誘導結合アンテナに流れる電流の大きさを調節して、前記容器の外周部に生成されるプラズマの強さを調節し、試料を処理することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項24】容器の外周部に巻装された誘導結合アンテナと前記容器の外側で前記誘導結合アンテナより内側に配置された静電容量結合アンテナとを電氣的に直列に接続し、前記誘導結合アンテナ及び静電容量結合アンテナが形成する電界を用いて前記容器内にプラズマを生成する際に、前記静電容量結合アンテナおよび前記誘導結合アンテナに流れる電流の大きさを調節して、前記容器

の外周部および中央部に生成されるプラズマの強さを調節し、試料を処理することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項25】プラズマ生成部に電界を発生するコイル状の誘導結合アンテナと板状の静電容量結合アンテナとを電氣的に直列に接続して高周波電力を供給し、前記両アンテナへの高周波電力印加回路のインピーダンスのマッチングをとり、真空容器内の前記プラズマ生成部にプラズマを発生させ、前記真空容器内に配置された試料に対してプラズマ中のイオンを入射させるバイアス電圧を印加し、前記試料をプラズマ処理することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項26】請求項25記載のプラズマ処理方法において、前記誘導結合アンテナを複数の系で構成し、前記静電容量結合アンテナに流れる高周波電流を変化させるとともに、前記各誘導結合アンテナに流れる高周波電流を、プラズマ分布の変化を生じることなく、変化させるプラズマ処理方法。

【請求項27】請求項25記載のプラズマ処理方法において、プロセスレシビの異なる処理を連続して処理する際に、各誘導結合アンテナに流れる高周波電流を調節する工程と、該工程により設定された処理プロセスを実行する工程とを交互に繰り返す、試料の処理を行うプラズマ処理方法。

【請求項28】電氣的に直列に接続された誘導結合アンテナと静電容量結合アンテナによって容器内に電界を形成し、前記誘導結合アンテナからの電界が弱い部分に前記静電容量結合の電界を形成し、これらの電界を用いて前記容器内にプラズマを生成し、該プラズマを用いて試料を処理することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項29】静電容量結合アンテナと電氣的に直列に接続された誘導結合アンテナが形成する電界の内、容器内壁面に反応生成物が付着する弱い電界の部分に、静電容量結合アンテナによる強い電界を形成し、前記容器内壁面への反応生成物の付着を抑制することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項30】電氣的に直列に接続された誘導結合アンテナと静電容量結合アンテナに流れる高周波電流の割合を調整し、前記誘導結合アンテナ及び静電容量結合アンテナによる電界を用いて容器内にプラズマを生成し、該プラズマを用いて容器内をクリーニングすることを特徴とするプラズマクリーニング方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、アンテナに高周波電力を供給して電界を発生させ、その電界により発生させたプラズマを用いて試料をプラズマ処理するのに好適なプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法に関する。

【0002】

【従来の技術】コイル状のアンテナに高周波電流を流

10

20

30

40

50

し、その誘導でプラズマを生成するプラズマ処理装置では、プラズマが生成される真空容器の内壁面において、コイル状のアンテナからの電界が強い箇所では高密度のプラズマが生成され、反応生成物が付着し難いが、電界が弱い箇所ではプラズマ密度も低く反応生成物が付着し易く、ゴミの発生を引起こすことがある。このような問題を解決する方法としては、例えば、日本の特開平8-316210号公報に記載されているような、真空チャンバを形成する誘電体壁の外側に高周波電流を流すことのできる高周波アンテナを設け、この高周波アンテナと誘電体部材との間にプラズマと静電的に結合させ、誘電体部材の内表面上に様な電界を形成させる電極を設け、高周波アンテナと電極とを並列に接続し、プロセス中は電極に供給する電力を小さくし、プロセスとプロセスの間では電極に供給する電力を大きくしてクリーニングプロセスを実施する方法が知られている。

【0003】また、USP5,811,022号明細書に記載のように、高周波電力が印加される誘導コイルと反応室との間に分割ファラデーシールドを設け、分割ファラデーシールドを選択して、プラズマ電位の変化のレベルを制御するものがある。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記前者の従来技術は、ウエハを処理するプロセスと、真空チャンバ内をクリーニングするクリーニングプロセスとを分けて処理する方法としており、スルーブットに関して十分に配慮されていなかった。また、プラズマ処理中に、真空チャンバの内壁に反応生成物が付着するのを防止するように、静電容量的に結合された電極（静電容量結合アンテナ）に流れる電流を大きくした場合、高周波アンテナ（誘導性）と電極（容量性）とが並列に接続された回路では、静電容量結合の放電を生じさせるために静電容量的に結合させた電極が電気回路的にコンデンサーとして働き、誘導結合の放電を生じさせるための高周波アンテナがコイルとして働くため、並列共振（合成インピーダンスの大きさが無限大となる現象）を起こし、高周波のマッチングが取れなくなる場合がある。このため、並列共振を生じる領域付近の条件によるプラズマ処理は実施することができず、プラズマ処理条件の適用範囲が狭くなる。

【0005】また、プラズマ処理中に、真空容器の内壁に反応生成物が付着するのを防止するために、静電容量的に結合された電極（静電容量結合アンテナ）に流れる電流を大きくすると、静電容量放電によるプラズマが強く発生するため、プラズマの分布が変わってしまい、ウエハを均一に処理するための条件が狂ってしまうという問題がある。

【0006】上記後者の従来技術は、誘導コイルとファラデーシールドとの間が容量的に結合される、すなわち、ファラデーシールドを静電容量的に結合された電極と考えると、電極に電圧を印加するための回路が浮遊容

量を利用しているため、真空容器の大気開放後における誘導コイル及び電極等の再設置時の精度等によって、電極に印加される電圧が左右されてしまう。また、電極に印加される電圧を大きくしようとすれば、浮遊容量の大きさを大きくする必要があり、この場合には、誘導コイルの面積を大きくしたり、電極との距離を近くする必要がある。しかしながら、面積を大きくすることは高電圧部が大きくなることであり、また距離を近くすると異常放電が生じる恐れもあり、装置の健全性、信頼性の低下につながる。したがって、浮遊容量を利用するものにおいては、電極に印加される電圧をあまり大きくすることができない。

【0007】一方、有磁場プラズマタイプのプラズマ処理装置では、電磁石等が発生する磁場を変化させることでプラズマの分布を制御でき、試料の均一処理や反応生成物の付着が少ない条件のプラズマ分布に容易に調整可能である。しかし、無磁場の誘導放電プラズマタイプのプラズマ処理装置では、プラズマ分布を調整する手段が限られ、例えば、真空容器の形状を変えたり、誘導結合アンテナの位置を調節して分布を制御していた。しかし、ガス圧等のプロセス条件を変えると、プラズマの分布は変化してしまい、一台のプラズマ処理装置ではごく限られた条件でしか、プロセス処理ができなかった。

【0008】本発明の第一の目的は、誘導結合アンテナを用いたプラズマ処理において、容易にプラズマ分布を制御することのできるプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することにある。

【0009】本発明の第二の目的は、誘導結合アンテナを用いたプラズマ処理において、試料の処理中に真空容器の内壁面への反応生成物の付着を抑制することのできるプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記本発明の第一の目的は、プラズマが形成される領域を囲む面に対し誘導結合アンテナを配置し、少なくとも誘導結合アンテナが配置されていない部分の面に対し静電容量結合アンテナを配置して、誘導結合アンテナと静電容量結合アンテナを電気的に直列に接続し、静電容量結合アンテナと静電容量結合アンテナに流れる高周波電流の割合を調整する調整手段を設けた装置とし、電気的に直列に接続された誘導結合アンテナと静電容量結合アンテナに流れる高周波電流の割合を調整し、誘導結合アンテナ及び静電容量結合アンテナによる電界を用いて容器内にプラズマを生成し、該プラズマを用いて試料を処理する方法とすることにより、達成される。

【0011】上記本発明の第二の目的は、プラズマが形成される領域を囲む面に対し誘導結合アンテナを配置し、誘導結合アンテナが配置されていない部分の面に対し静電容量結合アンテナを配置して、誘導結合アンテナ



と静電容量結合アンテナを電氣的に直列に接続した装置とし、電氣的に直列に接続された誘導結合アンテナと静電容量結合アンテナによって容器内に電界を形成し、誘導結合アンテナからの電界が弱い部分に静電容量結合の電界を形成し、これらの電界を用いて容器内にプラズマを生成し、該プラズマを用いて試料を処理する方法とすることにより、達成される。

【0012】本発明によれば、電氣的に直列に接続された誘導結合アンテナと静電容量結合アンテナに流れる高周波電流の割合を調整し、誘導結合アンテナ及び静電容量結合アンテナにより発生させる電界の強さを調整できるので、容器内に処理に最適なプラズマを生成することができ、誘導結合アンテナを用いたプラズマ処理において、試料の処理中に真空容器の内壁面への反応生成物の付着を抑制することができる。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明の第一の実施例を図1ないし図3により説明する。図1に、本発明のプラズマ処理装置の縦断面図を示す。真空容器2は、この場合、内部にプラズマ生成部を形成する絶縁材料（例えば、石英、セラミック等の非導電性材料）で成る放電部2aと、被処理物である試料、例えば、ウエハ13を配置するための電極が設置された処理部2bとから成る。処理部2bはアースに設置されており、電極5は絶縁材を介して処理部2bに取付けられている。放電部2aの外側にはコイル状の誘導結合アンテナ1が配置されている。また、放電部2aの天井の大気側には、プラズマ6と静電容量的に結合する円盤状の静電容量結合アンテナ8が設けられている。誘導結合アンテナ1と静電容量結合アンテナ8は、整合器（マッチングボックス）3を介して第一の高周波電源10に直列に接続されている。また、静電容量結合アンテナ8と並列に、インピーダンスの大きさが可変可能な負荷17の回路がアースに接地してある。真空容器2内にはガス供給装置4から処理ガスが供給され、真空容器2内は排気装置7によって所定の圧力に減圧排気される。電極5には、第二の高周波電源12が接続されている。

【0014】上記のように構成された装置では、ガス供給装置4によって真空容器2内に処理ガスを供給し、該処理ガスを誘導結合アンテナ1と静電容量結合アンテナ8により発生する電界の作用によって、プラズマ化する。プラズマ化されたガスは、後に、排気装置7によって排気される。第一の高周波電源10により発生した、例えば、13.56MHz、27.12MHz、40.68MHz等のHF帯や、更に周波数が高いVHF帯等の高周波電力を誘導結合アンテナ1と静電容量結合アンテナ8に供給することにより、プラズマ生成用の電界を得ているが、電力の反射を押さえるためにマッチングボックス3を用いて、アンテナのインピーダンスを第一の高周波電源10の出力インピーダンスに一致させてい

る。マッチングボックス3は、この場合、一般的な逆L型と呼ばれる、静電容量を可変可能なバリコンを2個用いたものを使用している。また、処理されるウエハ13は、電極5上に配置され、プラズマ6中に存在するイオンをウエハ13上に引き込むために、電極5に第二の高周波電源12によりバイアス電圧を印加する。

【0015】図2は、図1のプラズマ処理装置の放電回路を示す外観斜視図である。放電回路としては、第一の高周波電源10から出た高周波電流は、マッチングボックス3を通り、誘導結合アンテナ1を流れて静電容量結合アンテナ8に流れる。静電容量結合アンテナに流れた電流は、プラズマを介してアースに流れる。また、静電容量結合アンテナ8に並列に、インピーダンスの大きさを可変可能な負荷17の回路を設けアースに接続する。負荷17は、この場合、バリコンと固定インダクターを直列に接続したものとしているが、直列共振させることで、インピーダンスをゼロにすることができる。

【0016】図3は、図2に示した放電回路の等価回路を示す。誘導結合アンテナ1を負荷9、静電容量結合アンテナ8を負荷11として等価的に示している。

【0017】負荷17のインピーダンスの大きさがゼロのときには、負荷11に加わる電圧もゼロとなることから、静電容量結合アンテナ8に流れる電流もゼロとなり、静電容量結合放電が起こらない状態となる。すなわち、誘導結合放電のみでプラズマが生成される状態となる。負荷17のインピーダンスの大きさを大きくしていくと、負荷11に流れる電流が増加し、静電容量結合放電で生成されるプラズマの割合が次第に強くなる。

【0018】なお、マッチングボックス3のマッチングが取れる範囲で、負荷11の大きさを変えていかなばならないが、マッチングが取れるための条件として以下のことを考慮する必要がある。

【0019】その条件の一つとして、負荷9のリアクタンスをYL、負荷11のリアクタンスをYC、負荷17のリアクタンスをYVとしたときに、YLは誘導的であるので $YL > 0$ 、YCは静電容量的なので $YC < 0$ である。しかしながら、YCとYVは並列に接続されていることから、 $YV > 0$ の領域において $YC = -YV$ となる時、並列共振を起こし合成インピーダンスが急激に大きくなって、マッチングが取れなくなる。このため、このような領域ではプラズマ生成ができなくなる場合がある。よって、 $YV < 0$ となるような領域で、負荷11を変化させる。これによって、問題なくマッチングを取ることができる。

【0020】また、もう一つの条件として、負荷11と負荷17を並列につないだときの合成インピーダンスのリアクタンスをYGとすると、 $YV < 0$ 、 $YC < 0$ となる条件では、 $YG < 0$ となる。しかしながら、 $YG > YL$ のときには、マッチングボックス3でのマッチングをとるべき放電回路全体の負荷のリアクタンスが負とな

り、図に示した逆L型のマッチングボックスでは、マッチングが取れない場合がある。その場合には、負荷9に直列にインダクタを挿入することで、マッチングが取れるようになる。また、 $\pi$ 型と呼ばれるマッチングボックスを用いることで、対応することができるが、この場合はマッチングボックスの構造が複雑になる。

【0021】このように、負荷17のインピーダンスを変えることによって、誘導結合アンテナ1と静電容量結合アンテナ8とに流れる高周波電流の割合を変えることができ、それぞれのアンテナによって発生する電界の強さが変わる。これによって、それぞれのアンテナで生成するプラズマの密度を変えることができる。言い換えると、それぞれのアンテナの位置に対応して、それぞれのプラズマの密度を変えることができるので、放電部2a内でのプラズマの分布を制御することができる。

【0022】すなわち、誘導結合アンテナ1でプラズマを生成した場合はプラズマは領域15aで強く発生するため外側に強くプラズマが生成し、静電容量結合アンテナ8でプラズマを生成した場合はプラズマは領域15bで強く発生するために中央部が強いプラズマが発生する。よって静電容量結合アンテナ8に流れる電流を調節することにより、中央部のプラズマの強さが調節でき、これによって、プラズマの分布を適正に制御しウエハを均一に処理することができる。

【0023】また、静電容量結合放電によって生成したプラズマは、誘導結合放電によるプラズマより電子温度が高い傾向があるので、静電容量結合アンテナ8に流れる電流を調整することにより、静電容量結合放電と誘導結合放電の割合を調節できるので、プラズマの電子温度制御及び処理ガスの解離制御等も可能となる。これにより、試料の処理、例えば、メタルエッチング、ゲートエッチング、絶縁物エッチング、磁気ヘッドのエッチング加工等それぞれのプロセスに合わせた最適の条件を適用させることができる。

【0024】また、誘導結合アンテナ1によって作られる電界は、誘導結合アンテナ近傍の領域15aに強く発生する。そのため、誘導結合アンテナ1でプラズマを生成した場合、真空容器2の放電部2a側面では反応生成物の付着は少ないが、放電部2aの天井には反応生成物の付着が多く発生する。その付着を防止するため、放電部2aの天井の大気側にプラズマ6と静電容量的に結合する円盤状の静電容量結合アンテナ8を設け、天井付近の領域15bに電界を強く発生させる。これにより、真空容器2の天井部分、すなわち、放電部2aの天井部分において、反応生成物の付着を抑制または防止することができる。

【0025】以上、本第一の実施例によれば、放電部を囲って誘導結合アンテナを配置し、誘導結合アンテナが配置されていない放電部の面に対し静電容量結合アンテナを配置して、誘導結合アンテナと静電容量結合アンテナ

ナを電気的に直列に接続し、高周波電力を供給することにより、誘導結合アンテナによって強い電界を形成できない箇所にも、静電容量結合アンテナによって強い電界を形成できるので、放電部全体で高密度のプラズマを生成できるので、ウエハのプラズマ処理中においても、真空容器内壁面への反応生成物の付着を抑制することができるという効果がある。

【0026】また、誘導結合アンテナと静電容量結合アンテナとに流れる電流の割合を調整、例えば、静電容量結合アンテナに流れる電流を調節することにより、中央部のプラズマの強さが調節でき、これによって、プラズマの分布を適正に制御しウエハを均一に処理することができる。

【0027】さらに、誘導結合アンテナと静電容量結合アンテナとに流れる電流の割合を調整、例えば、静電容量結合アンテナに流れる電流を調節することにより、静電容量結合放電と誘導結合放電の割合を調節できるので、プラズマの電子温度制御及び処理ガスの解離制御等も可能となる。

【0028】なお、本一実施例では、誘導結合アンテナと静電容量結合アンテナとに流れる電流の割合を調節する方法として、静電容量結合アンテナに流れる電流を調節する、すなわち、負荷17を用いて静電容量結合アンテナ8に流れる電流を調節することについて述べたが、負荷17を誘導結合アンテナ1に並列に接続しても同様の制御が可能である。この場合の等価回路を図4に示す。負荷17のインピーダンスがゼロのときには誘導結合アンテナ1の負荷9に流れる高周波電流はゼロになり、負荷17のインピーダンスを大きくするに連れて、負荷9に流れる電流は大きくなる。このようにこの回路では誘導結合アンテナ1に流れる電流を調整可能となる。

【0029】次に、本発明の第二の実施例を図5ないし図8によって説明する。図5に、本発明のプラズマ処理装置の縦断面図を示し、図6に放電回路の斜視図を示す。本図において、前記第一の実施例で示した図1および図2と同符号は同一部材を示し、説明を省略する。本図が図1および図2と異なる点は、誘導結合アンテナ1aと誘導結合アンテナ1bの二系統を上下に設置し、並列に接続し、誘導結合アンテナ1aに直列にバリコン16を接続している点である。

【0030】このように構成された装置では、二系統の誘導結合アンテナ1a、1bに流れる高周波電流の大きさを制御することで、プラズマ分布を制御することができる。以下、プラズマ分布の制御方法について述べる。

【0031】二系統の誘導結合アンテナ1aと誘導結合アンテナ1bが作る誘導電界が強い領域を領域25aと領域25bとする。また静電容量結合アンテナ8が作る電界が強い領域を領域25cとする。これら電界が強い領域でプラズマの生成が行われる。真空容器2の放電部

2aは、図示上において、上方に向かい径を小さくすることで、領域25aと領域25bの径の大きさが異なる。この場合は、領域25aの径が小さく、領域25bの径が大きくなっている。これに伴って誘導結合アンテナ1aが作るプラズマは中央の密度が高いプラズマとなり、誘導結合アンテナ1bが作るプラズマは外周の密度が高いプラズマとなる。したがって、誘導結合アンテナ1aと誘導結合アンテナ1bとに流れる電流の割合を調整することによって、プラズマの分布を制御することができる。

【0032】次に、誘導結合アンテナ1aと誘導結合アンテナ1bとに流れる高周波電流の割合を調整する方法について説明する。図7に図6の放電回路の等価回路を示す。誘導結合アンテナ1aを負荷9a、誘導結合アンテナ1bを負荷9bとして表している。負荷9aとバリコン16を合成したインピーダンスの大きさをZa、負荷9bのインピーダンスの大きさをZbとすると、負荷9aと負荷9bに流れる高周波電流の大きさは、 $1/Za$ と $1/Zb$ に比例する。誘導結合アンテナは正のリアクタンスをもつが、負のリアクタンスをもつバリコンでZaを正の値からゼロまで変化させることで、電流を制御することができる。

【0033】ここで、Zbのリアクタンスは正であるので、Zaのリアクタンスが負となる条件の場合、マッチングが取れない場合があるので、Zaのリアクタンスは正となる条件で用いるのが望ましい。よって、図7の回路は、負荷9aに流れる電流を増加させるのに適した回路であるといえる。

【0034】上述の装置および方法を用いウエハを処理する場合、静電容量結合アンテナ8に流れる高周波電流を強くし、誘導結合プラズマ1aと誘導結合アンテナ1bに流れる電流の割合を一定にした場合、領域25cにおいて生成するプラズマが多くなり、誘導結合プラズマ1aと誘導結合アンテナ1bに流れる電流は相対的に減少するので、領域25aと領域25bで生成するプラズマは少なくなる。そのためプラズマの中央の密度が高くなり、ウエハ13上の処理速度分布も中央が早くなってしまう。

【0035】そこで、誘導結合アンテナ1aに流れる電流を小さく、誘導結合アンテナ1bに流れる電流を大きくすることで、径の大きい領域25bで生成するプラズマを多くし、径の小さい領域25aで生成するプラズマを少なくすることで、プラズマの分布を制御し、ウエハ13上の処理速度を均一にすることができる。

【0036】以上、本第二の実施例によれば、前記第一の実施例と同様の効果があるとともに、二系統の大きさの異なる誘導結合アンテナを設け、それぞれの誘導結合アンテナへの高周波電力の印加量を制御することで、異なる大きさの誘導結合放電を得ることができるので、放電部内でのプラズマの分布をさらに細かく制御すること

ができるという効果がある。

【0037】また、二系統の誘導結合アンテナ1a、1bと静電容量結合アンテナ8のそれぞれに流れる高周波電流を制御できるので、各アンテナが発生する強い電界を領域25a、領域25b、領域25cに自由に発生させることができ、最適なプラズマ状態にできるので、ウエハ処理中の反応生成物の容器内への付着をさらに細かい範囲で抑制できるという効果がある。

【0038】なお、本第二の実施例において、負荷9aに流れる電流を減少させるためには、図7の回路におけるバリコン16を、負荷9aに直列に接続するのではなく、負荷9bに直列に接続すれば良い。

【0039】また、負荷9aに流れる電流を減少させるための他の回路として、図8の放電回路の等価回路に示すように、バリコン16と直列にインダクター19を設置しても良い。ここで、バリコン16とインダクター19の合成インピーダンスのリアクタンスが正となる条件においては、負荷9aと負荷9bのリアクタンスは正であるので、並列共振がおこらず安定してマッチングを取ることができる。

【0040】次に、本発明の第三の実施例を図9および図10により説明する。図9に、本発明のプラズマ処理装置の縦断面図を示し、図10に放電回路の斜視図を示す。本図において、前記第二の実施例で示した図5および図6と同符号は同一部材を示し、説明を省略する。本図が図5および図6と異なる点は、静電容量結合アンテナ8aを真空容器2の放電部2a全体を覆うように設けて点である。

【0041】本第三の実施例では、二系統の誘導結合アンテナ1aと誘導結合アンテナ1bが作る誘導電界が、強い領域を領域25aと領域25bとする。また静電容量結合アンテナ8aが作る電界が強い領域を領域25dとする。この電界が強い領域でプラズマの生成が行なわれるが、静電容量結合アンテナ8aは真空容器2全体を覆うように設置されていることから、領域25dは真空容器2の放電部2a内壁に隣接する部分全体となり、静電容量放電によって、放電部2aの内壁全体に反応生成物が付着するのを防止またはクリーニングができる。また、誘導結合アンテナ1a、1bと放電部2aの間に静電容量結合アンテナを設けることで、誘導結合アンテナとプラズマとの静電容量的な電界が放電部内に伝わるのを防ぎ、放電部内壁がプラズマによって削られるのを防止するファラデーシールドの役割を果たしている。

【0042】図10は、図9に示す装置の放電回路の斜視図である。静電容量結合アンテナ8aには、誘導結合アンテナ1a、1bが発生する電界が真空容器2a内部に到達するように、誘導結合アンテナ1a、1bと直交するようにスリット14を設けている。スリット14は誘導結合アンテナ1a、1bが作る電界を妨げなければ、直交する必要はなく、ある程度の傾きを持ってい

もよい。

【0043】本第三の実施例によれば、前述の第一および第二の実施例と同様の効果を得ることができるとともに、静電容量結合アンテナが8aが放電部2a全体を覆って設けてあるので、放電部2a内面全体において、反応生成物の付着を防止または抑制できるという効果がある。

【0044】次に、本第三の実施例に記述した概念を用いてプラズマを生成したときの実験データを示す。図11は、実験に用いた放電回路を示す。この放電回路では、マッチングボックス3内に1.2μHのインダクタを設置することで、マッチングをとりやすくしている。また、静電容量結合アンテナ8aに流れる電流を抑制するために静電容量結合アンテナの手前に200pFのコンデンサを設置した。また、誘導結合アンテナ1aは2ターン、誘導結合アンテナ1bは1ターンとしている。2系統の誘導結合アンテナに流れる電流と、静電容量結合アンテナ8aに流れる電流は、バリコン16a、16bと固定インダクタを組み合わせた負荷によって行われる。

【0045】図12は、バリコン16aの静電容量の値を変化させた場合の誘導結合アンテナ1aと誘導結合アンテナ1bに流れる電流比（アンテナ1aに流れる電流／アンテナ1bに流れる電流）を示す。このように、バリコン16aを変化させることで、アンテナ1aと1bに流れる電流の比を調節できることがわかる。ここで、アンテナ1a、1bに流れる電流を調整するために、この場合、アンテナ1bの後ろにバリコン16aと0.9μHのインダクタを直列に設けて有る。これにより、バリコン16aの静電容量を可変し、バリコン16aと0.9μHのインダクタとアンテナ1bによるインピーダンスが零のとき、高周波電流はアンテナ1bにのみ流れ、電流比は零となる。また、インピーダンスが零より大きいときは、アンテナ1a、1bに流れる高周波電流は同位相となり、プラスの電流比となる。逆に、インピーダンスが零より小さいときは、アンテナ1a、1bに流れる高周波電流は逆位相となり、マイナスの電流比となる。

【0046】図13は電流比を変化させた場合の電極上でのプラズマのイオン飽和電流密度の均一性を示している。均一性はプラズマの中央部が高い場合をプラス、外周部が高い場合をマイナスとして示している。このように、電流比を調整することで、プラズマのイオン飽和電流密度、すなわち、分布を外周部から中央部まで広い範囲で調整できる。本実験装置ではプラズマのイオン飽和電流密度の均一性を50%も調整できた。

【0047】図14は、バリコン16bの静電容量の値を変化させた場合の静電容量結合アンテナ8aに発生する電圧の振幅（peak-to-peak）を示したものである。このように、誘導結合アンテナと静電容量結合アンテナと

を直列に接続した放電回路を用いることにより、従来の浮遊容量を利用するものものに比べ、この場合、静電容量結合アンテナ8aに電圧がほとんど発生しない状態から、最大約1000Vまでの間で電圧を大きく調整可能であった。

【0048】なお、本第三の実施例では2系統の誘導結合アンテナを設置しているが、更にプラズマ分布を高精度に制御するために、誘導結合アンテナを3系統、或いは4系統以上に増やしても良い。

10 【0049】次に、本発明の第四の実施例を図15および図16により説明する。図15に、本発明のプラズマ処理装置の斜視図を示す。本図において、前記第三の実施例で示した図10と同符号は同一部材を示し、説明を省略する。本図が図10と異なる点は、放電回路における誘導結合アンテナの接続方法が異なっている点である。すなわち、誘導結合アンテナは、誘導結合アンテナ1aと誘導結合アンテナ1bの二系統を直列に接続した回路に、更に静電容量結合アンテナ8aを直列につなげたものである。また静電容量結合アンテナ8aに流れる  
20 電流を調節するために、インピーダンスの大きさを調節可能な負荷17aを静電容量結合アンテナ8aに並列になるように接続してある。更に、誘導結合アンテナ1aと誘導結合アンテナ1bに流れる電流を調整するために、負荷17b、負荷17cを同様に並列に接続してある。

【0050】図16は、図15に示す装置の放電回路の等価回路を示したものである。誘導結合アンテナ1aを負荷9a、誘導結合アンテナ1bを負荷9b、静電容量結合アンテナ8aを負荷11として表している。本実施例において、誘導結合放電の強さは負荷17aの大きさによって調節される。負荷17のインピーダンスの大きさを大きくすると、負荷11に流れる電流が増加し、静電容量結合放電で生成されるプラズマの割合が強くなる。また負荷17b又は負荷17cのインピーダンスを大きくして行くと、誘導結合アンテナ1a又は誘導結合アンテナ1bにおける誘導結合放電が強くなる。よって、負荷17a、17b、17cのインピーダンスの大きさを調整することで、前述の第一ないし第三の実施例と同様の効果を得ることができる。

40 【0051】なお、本第四の実施例では、誘導結合アンテナ1a、誘導結合アンテナ1b及び静電容量結合アンテナ8aのすべてに負荷17a、17b、17cを並列に入れて、それぞれに流れる電流を調整しているが、そのうち一つの負荷がない場合でも同様の制御が可能であり、同様の効果を得ることができる。

【0052】また、マッチングの取れる条件として、静電容量結合アンテナ8aのインピーダンスのリアクタンスが負であることから、並列共振を避けるために負荷17aのリアクタンスは負となる条件で用いることが望ましい。また、誘導結合アンテナ1a、1bの負荷のリア

クタンスが正であるので、並列共振を避けるために負荷17bと負荷17cのリアクタンスは正となる条件を用いることが望ましい。

【0053】さらに、マッチングボックス3がマッチングを取るべき放電回路全体の負荷のリアクタンスが負となり、図に示した逆L型のマッチングボックスではマッチングが取れなくなる場合には、マッチングボックス3と放電回路の間にインダクタを直列に挿入することでマッチングを取ることができる。

【0054】次に、本発明の第五の実施例を図17および図18により説明する。図17に、本発明のプラズマ処理装置の斜視図を示す。本図において、前記第四の実施例で示した図15と同符号は同一部材を示し、説明を省略する。本図が図15と異なる点は、放電回路における誘導結合アンテナの接続方法が異なっている点である。すなわち、誘導結合アンテナは、誘導結合アンテナ1aと誘導結合アンテナ1bの二系統を直列に接続した回路に静電容量結合アンテナ8aを直列につなげたものであり、静電容量結合アンテナ8aに流れる電流を調節するために、インピーダンスの大きさを調節可能な負荷17aを静電容量結合アンテナ8aに並列になるように設置し、更に、誘導結合アンテナ1aと誘導結合アンテナ1bの間からインピーダンスの大きさを調整可能な負荷17bを介してアースに接続した回路を分岐させてある。

【0055】図18は、図17の装置の放電回路の等価回路を示したものである。誘導結合アンテナ1aを負荷9a、誘導結合アンテナ1bを負荷9b、静電容量結合アンテナ8を負荷11として表している。本実施例において、誘導結合放電の強さは負荷17aの大きさによって調節される。負荷17のインピーダンスの大きさを大きくしていくと、負荷11に流れる電流が増加し、静電容量結合放電で生成されるプラズマの割合が強くなる。また負荷17bは、負荷9bと負荷11が直列につながった回路に並列につながることから、負荷17bのインピーダンスを調節することで、誘導結合アンテナ1bによる誘導結合放電と静電容量結合アンテナ8aによる静電容量結合放電を調整することができる。

【0056】また、マッチングの取れる条件として、静電容量結合アンテナのインピーダンスのリアクタンスが負であることから、並列共振を避けるために負荷17aのリアクタンスは負となる条件で用いることが望ましい。また、負荷17bと並列につながっている回路との並列共振を避けるため、負荷9bと負荷11と負荷17aを合成したインピーダンスのリアクタンスが正のときには、負荷17bのリアクタンスも正、合成インピーダンスのリアクタンスが負のときには、負荷17bのリアクタンスも負となるようにすることが望ましい。さらに、マッチングボックス3がマッチングをとるべき放電回路全体の負荷のリアクタンスが負となり、図に示した

逆L型のマッチングボックスではマッチングが取れなくなる場合がでてくる。その時には、負荷9aに直列にインダクタを挿入することで、マッチングを取ることができる。

【0057】以上、本第五の実施例によれば、前述の第1ないし第3の実施例と同様の効果を得ることができる。

【0058】次に、本発明の第六の実施例を、図19により説明する。図19は本発明のプラズマ処理装置を示す縦断面図である。本実施例の基本的な考え方は第一、第二、および第三の実施例と同じであるが、真空容器20の放電部20aの形状と誘導結合アンテナ21と静電容量結合アンテナ28の形状が異なっている。本実施例では、放電部20aは筒状で、その全体を包むように、筒状の静電容量結合アンテナ28が設置され、放電部20aの天井に2系統のコイル状の誘導結合アンテナ21aと誘導結合アンテナ21bが巻かれている。

【0059】本実施例では、二系統の誘導結合アンテナ21aと誘導結合アンテナ21bが作る誘導電界が強い領域を領域25eと領域25fとする。また静電容量結合アンテナ28が作る電界が強い領域を領域25gとする。これら電界が強い領域でプラズマの生成が行なわれるが、静電容量結合アンテナ28は放電部20a全体を覆うように設置していることから、領域25gは放電部20a内壁に隣接する部分全体となり、静電容量放電によって、放電部20aの内壁全体の反応生成物が付着するのを防止またはクリーニングできる。

【0060】また、放電部20aの天井に巻かれた誘導結合アンテナ21aの径は小さいく、誘導結合アンテナ21bの径は大きいので、それに伴って誘導結合アンテナ21aが作るプラズマは中央の密度が高いプラズマとなり、誘導結合アンテナ21bが作るプラズマは外周の密度が高いプラズマとなる。よって、前述した第二ないし第五のいずれかの放電回路を用いることで、同様の効果を得ることができる。

【0061】以上のように、本発明によれば、誘導結合アンテナおよび静電容量結合アンテナへの高周波電流の電流量を調節する、すなわち、放電回路に設けた負荷17やバリコン16のインピーダンスを調整することにより、静電容量結合放電と誘導結合放電の割合を調節できるので、プラズマ処理中に真空容器内壁への反応生成物の付着を抑制することができる。また、プラズマの分布を制御することができるので、均一なプラズマ処理を行うことができる。さらに、プラズマ電子温度の制御も行なえるので、エッチング等のプラズマを用いたプロセス仕様の多様性に対処できる。

【0062】なお、本発明は、上述した第一ないし第六の実施例に示された装置に限らず、これらの組合わせによって放電回路を構成しても良い。また、真空容器も放電部と処理部に分ける必要もなく、放電部の形状も実施

例で示した形状に限られるものではない。例えば、図20ないし図23に示すような形状の真空容器にしても良い。また、図22に示すように誘導結合アンテナの外側に静電容量結合アンテナを配置しても良い。さらに、図23のように静電容量結合アンテナを真空容器の外面に貼り付けても良いし、または静電容量結合アンテナを真空容器の内部に埋め込んで構成しても良い。

【0063】ここで、20c、20d、20eは真空容器であり、少なくともアンテナに対応する部分は非同電材料で構成される。21は誘導結合アンテナであり、28a、28b、28c、28dは静電容量結合アンテナである。

【0064】また、本発明はプラズマを用いる装置および処理に適用でき、エッチング、CVD、スパッタ等処理および処理装置に適用でき、処理する試料としては半導体ウエハのみならず、液晶用基板の処理、磁気ヘッドの加工等、プラズマを用いて処理されるものには全て適用することができる。

【0065】さらに、このような本発明は次のような半導体製造プロセスに適用することができる。図24は本発明を用いた半導体プロセスの工程の一例を示す図である。本プロセスでの対象となる装置構成は前述した各実施例の何れかの構成を用いる。

【0066】半導体プロセスでは、エッチングする材料に合わせて処理ガスの種類、真空容器内のガス圧、ガス流量、アンテナに印加する高周波電力等を調整し、エッチングや成膜処理におけるウエハの均一処理が行えるようにプロセスレシピを決める。例えば、アルミニウムをエッチングする場合には、処理ガスとして塩素ガスや三塩化ホウ素ガス等を用い、石英をエッチングする場合には、処理ガスとしてC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>ガスを用いる。

【0067】ガスの種類やガス圧等が変わればプラズマの分布も変化するので、従来技術の装置を用いる場合には、上記2種類の材料をエッチングする場合、異なる装置を用いてエッチング処理を行う必要があった。

【0068】しかし、本発明の装置を用いれば、図24に示すように連続したプロセス処理の途中に、複数の誘導結合アンテナに流れる高周波電流を調節してプラズマ分布調整するための工程31a、31b、31cを加えるとともに、異なるプロセス30a、30b、30cをそれぞれの行程31a、31b、31cの後に持つてくることによって、同一の装置で各プロセスにおけるプラズマ分布を均一に調整してウエハを均一に処理することができる。

【0069】これによって、各プロセス毎にウエハを装置間で移動したりする手間が省けスループットの向上を図ることができる。また、一台の装置で複数のプロセス処理ができるので装置の台数を節約できる。

【0070】

【発明の効果】本発明によれば、電氣的に直列に接続さ

れた誘導結合アンテナと静電容量結合アンテナに流れる高周波電流の割合を調整し、誘導結合アンテナ及び静電容量結合アンテナにより発生させる電界の強さを調整できるので、容器内に処理に最適なプラズマを生成することができ、誘導結合アンテナを用いたプラズマ処理において、試料の処理中に真空容器の内壁面への反応生成物の付着を抑制することのできるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第一の実施例であるプラズマ処理装置を示す縦断面図である。

【図2】図1の装置の放電回路を示す斜視図である。

【図3】図2の放電回路の等価回路を示す図である。

【図4】図3の等価回路の他の実施例を示す図である。

【図5】本発明の第二の実施例であるプラズマ処理装置を示す縦断面図である。

【図6】図5の装置の放電回路を示す斜視図である。

【図7】図6の放電回路の等価回路を示す図である。

【図8】図6の等価回路の他の実施例を示す図である。

【図9】本発明の第三の実施例であるプラズマ処理装置を示す縦断面図である。

【図10】図9の装置の放電回路を示す斜視図である。

【図11】本発明の第三の実施例の概念を用いた実験装置の放電回路を示す斜視図である。

【図12】図11の装置による実験データを示す図である。

【図13】図11の装置による実験データを示す図である。

【図14】図11の装置による実験データを示す図である。

【図15】本発明の第四の実施例であるプラズマ処理装置を示す斜視図である。

【図16】図15の装置の放電回路の等価回路を示す図である。

【図17】本発明の第五の実施例である7プラズマ処理装置を示す斜視図である。

【図18】図17の装置の放電回路の等価回路を示す図である。

【図19】本発明の第六の実施例であるプラズマ処理装置を示す縦断面図である。

【図20】本発明のさらに他の実施例であるプラズマ処理装置を示す縦断面図である。

【図21】本発明のさらに他の実施例であるプラズマ処理装置を示す縦断面図である。

【図22】本発明のさらに他の実施例であるプラズマ処理装置を示す縦断面図である。

【図23】本発明のさらに他の実施例であるプラズマ処理装置を示す縦断面図である。

【図24】本発明の処理を適用した半導体処理プロセス工程の一例を示す図である。

【符号の説明】



19

20

1…誘導結合アンテナ、2…真空容器、2a…放電部、  
2b…処理部、3…整合器（マッチングボックス）、4  
…ガス供給装置、5…電極、6…プラズマ、7…排気装  
置、8…静電容量結合アンテナ、9…負荷、10…第一

の高周波電源、11…負荷、12…第二の高周波電源、  
13…ウエハ、15a…領域、15b…領域、17…負  
荷

【図1】

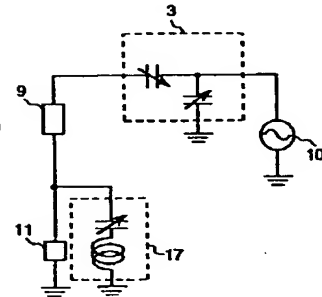
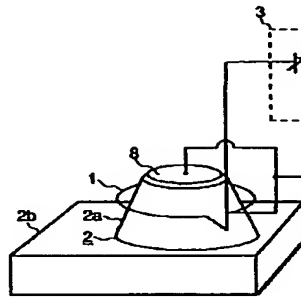
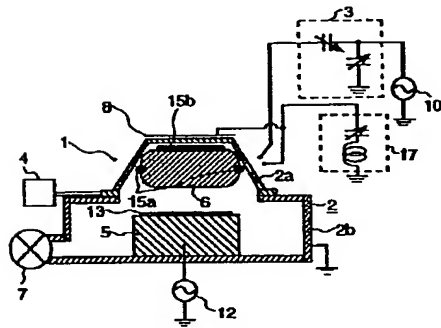
【図2】

【図3】

図 1

図 2

図 3



【図4】

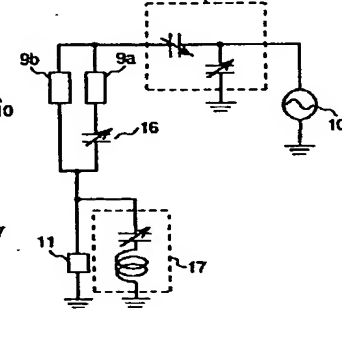
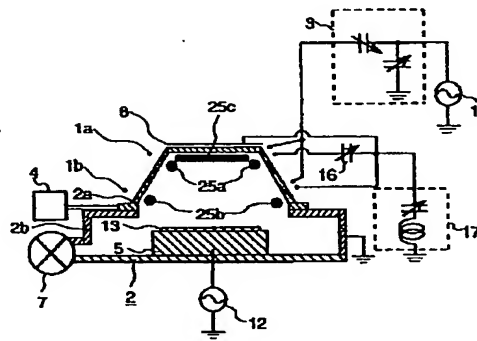
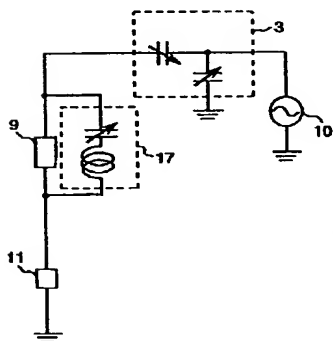
【図5】

【図7】

図 4

図 5

図 7



【図6】

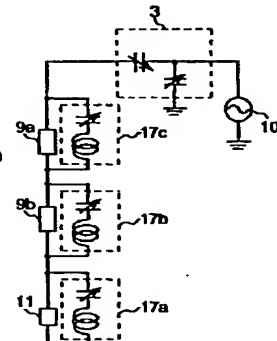
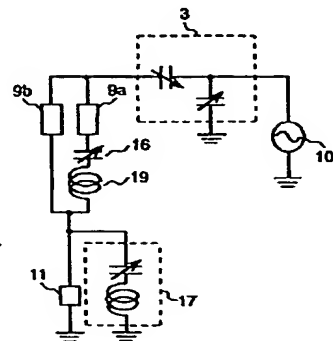
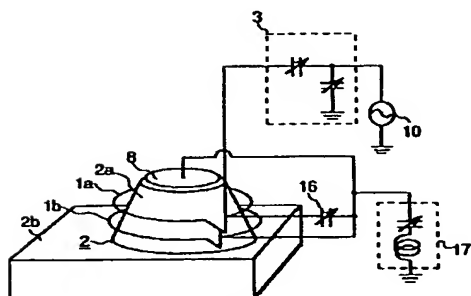
【図8】

【図16】

図 6

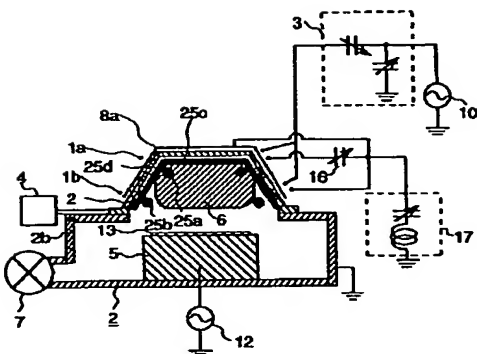
図 8

図 16



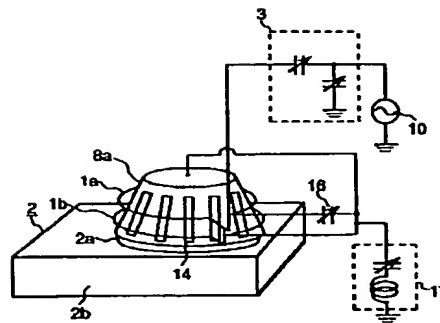
【图9】

**9**



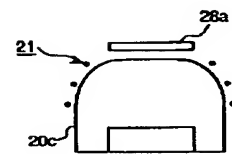
【図10】

圖 10



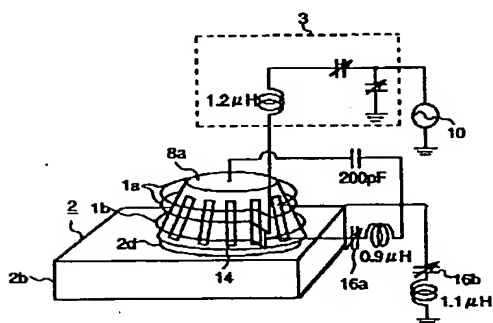
【図20】

图 20



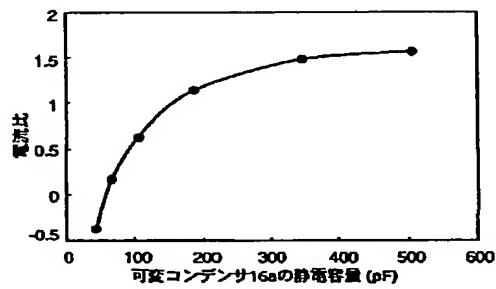
【☒ 1 1】

圖 11



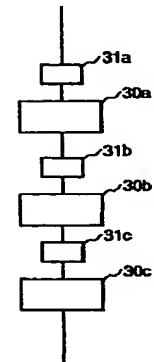
【图12】

● 12



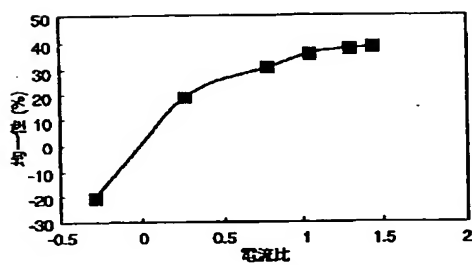
【图24】

**24**



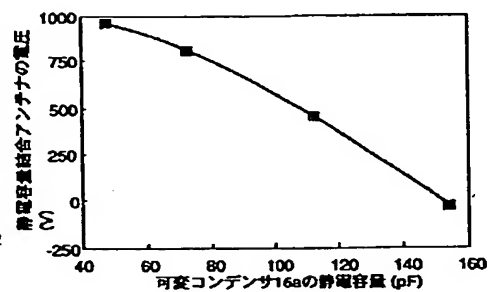
【例 13】

13



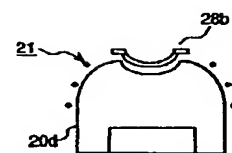
【図14】

Figure 14 is a line graph showing the percentage of respondents who believe that the government should do more to protect the environment. The x-axis represents the year (1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020). The y-axis represents the percentage (0 to 100). The line shows a steady increase from approximately 65% in 1990 to 95% in 2020.



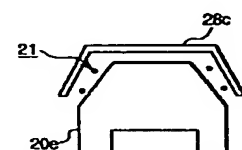
【図21】

21



【图22】

22





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**